

ストキャスティック輸送現象における多体効果

九大・理 柴田 博史

1. はじめに

凝縮系の物性では1つの粒子の運動は他の多くの粒子から大きな影響を受けている。過冷却液体や化学反応過程等がその例である。その場合粒子の運動はストキャスティックなものになっていると思われる。ここではさまざまな系で現れるランダムウォークに対する多体効果を調べた。密度 ρ ($\equiv$ 粒子数/格子数) $\simeq 0$ では粒子どうしが相互作用することなく通常のランダムウォーク、 $\rho \simeq 1$ では粒子どうしが常に衝突していて動きにくく非拡散的なウォークをするものと思われる。そして $0 < \rho < 1$ のどこかで粒子の動的振る舞いに転移があると期待される。

2. モデル

100×100 2次元正方格子上に粒子をランダムに配置し粒子に番号をつける。各粒子に対しランダムに方向を選んで番号順に粒子を動かす。動かし方は選んだ方向に1サイト動かすが、その位置に粒子が既にあれば動かさない。固定境界条件を設定しどのサイトにも $\frac{1}{4}$ の確率で方向を選ぶようにする。

3. 解析方法

番号をつけた各粒子に対し動けば $u = +1$ 、動かなければ $u = 0$ とし u についての時系列をつくる。ここでは全粒子に上述のルールが1回適用されると1単位時間経ったとする。そして k 番目の粒子の m 時刻目の u を $u_k(m)$ とする。スタティクな統計量として、

$$u(q) = \frac{\langle \sum_{i=0}^{n-1} \frac{1}{n} u_k(i) \exp\{q \sum_{i=0}^{n-1} u_k(i)\} \rangle}{\langle \exp\{q \sum_{i=0}^{n-1} u_k(i)\} \rangle}$$

を考える[1]。ここで $\langle \dots \rangle$ は各粒子についての平均と、各粒子での n 時間ごとの平均の2つの平均をとることを意味する。ここでは $u(0)$ つまり全粒子に対して動く粒子の割合を、密度の関数として計算する。一方、ダイナミックな統計量として $u_k(m)$ がつくる時系列をもとにパワースペクトル

$$I(\omega) = \langle \frac{1}{n} \left| \sum_{j=0}^{n-1} u_k(j) \exp\{ij\omega\} \right|^2 \rangle$$

を考える。ここで $n = 256$ としている。

4. 結果

$u(0)$ は平均場近似 $u(0) = 1 - \rho$ に良く一致していることがわかった。これは今のルールでは時間がどれだけ経ったとしても、粒子はランダムに配置したときと同じ構造をとっていることを示す。粒子の動的振る舞いを調べると長時間領域で $I(\omega) \propto \omega^{-\beta}$ の関係になっていることがわかる。(図1) これは長時間後に、粒子の動く動かないの間に相関が現れる事を意味する。さきに転移があるだろうことは述べたが、 $\rho \simeq 0.1$ で β に変化が現れることがわかった。 β と ρ との関係を図に示す。(図2)

5. 結論

サイトパーコレーションがおこる密度では粒子の動きに転移が見られなかったが、 $\rho \simeq 0.1$ で粒子の動的振る舞いに転移があることがわかった。これは $\rho \simeq 0.1$ で粒子の衝突の様子に変化が生じている事を意味する。将来はもっと現実の系に近い相互作用をとりいれ観測可能量を計算したい。

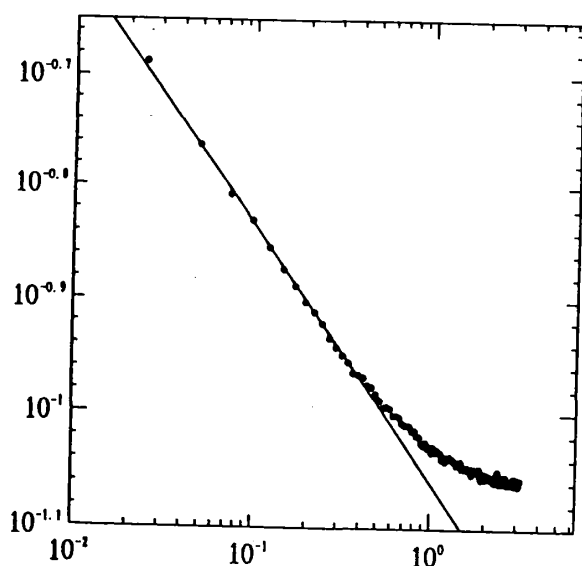


図1 $\ln I(\omega)$ vs $\ln \omega$
 $\rho = 0.1$ 直線の傾き -0.227

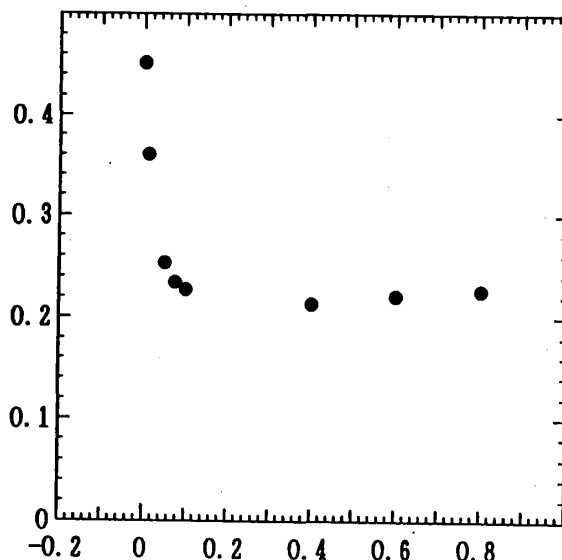


図2 β vs ρ

参考文献

- [1] H. Fujisaka and M. Inoue, Phys. Rev. A41(1990), 5302.